

# 레일레이 페이딩 채널에서 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 얼랑 용량 (Erlang Capacity for the Reverse Link of a DS/CDMA Cellular System Supporting Voice and Data Service in Rayleigh Fading Channel)

金 沆 來 \* , 金 男 \*

(Hang-Rae Kim and Nam Kim)

### 요 약

본 논문에서는 레일레이 페이딩(Rayleigh fading) 채널에서 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 확장된 블럭킹 확률식(blocking probability formula)을 유도한다. 또한, 전파음영(shadowing)만을 고려한 경우와 전파음영과 다중경로 페이딩을 모두 고려한 경우에 대하여 얼랑용량을 비교 분석한다. 레일레이 페이딩 채널에서 1%의 블럭킹 확률을 가정하면, 데이터를  $R_b=9.6$  kbps에서는 13.38 얼랑의 음성 얼랑용량과 8.92 얼랑의 데이터 얼랑용량을 지원하고,  $R_b=14.4$  kbps에서는 7.47 얼랑의 음성 얼랑용량과 4.98 얼랑의 데이터 얼랑용량을 지원하여 음영효과만을 고려한 경우보다  $R_b=9.6$  kbps에 대해서는 21.4%,  $R_b=14.4$  kbps에 대해서는 24.9%의 용량이 감소함을 알 수 있다. 다중경로 페이딩의 영향을 무시해서는 안된다는 것을 보이며 DS/CDMA 셀룰라 시스템이 지원할 수 있는 정확한 음성 얼랑용량과 데이터 얼랑용량을 제공한다.

### Abstract

In this paper, an extended blocking probability formula for reverse link of a DS/CDMA cellular system supporting voice and data service is derived in Rayleigh fading channel. Also, voice and data Erlang capacity considering shadowing are analyzed and compared with those considering both shadowing and multipath fading, respectively. Assuming that the blocking probability set 1% in the Rayleigh fading channel, they are observed that voice Erlang capacity of 13.38 Erlangs and data Erlang capacity of 8.92 Erlangs are supported at the data rate  $R_b=9.6$  kbps, and voice Erlang capacity of 7.47 Erlangs and data Erlang capacity of 4.98 Erlangs are supported at the data rate  $R_b=14.4$  kbps, respectively, and then are less 21.4% for  $R_b=9.6$  kbps, 24.9% for  $R_b=14.4$  kbps than Erlang capacity considering shadowing only, respectively. It is shown that the effect of multipath fading must not be ignored. Also, it is presented that accurate voice and data Erlang capacity which could be supported by the DS/CDMA cellular system.

\* 正會員, 忠北大學校 情報通信學科  
(Dept. of Computer and Communication Engineering,  
Chungbuk National University)  
接受日字:2000年12月27日, 수정완료일:2001年11月20日

### I. 서 론

DS/CDMA 통신방식은 주파수 자원의 유연성을 최대한으로 하는 주파수 재사용 효율과 소프트 핸드오프 등과

같은 커다란 이점을 가지고 있다. 현재 DS/CDMA 통신방식은 음성, 데이터, 비디오 및 인터넷과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있는 진보된 다중 접속 기술로 자리잡고 있다. 더불어, 제 3세대 이동통신 시스템에서는 다양한 고품질의 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있어야 할 것이다. 현재 DS/CDMA 통신방식은 IMT-2000에서도 표준화와 개발에 박차를 가하고 있으며, 앞으로의 무선통신 시장에서 중요한 기술로 대두되고 있다<sup>[1, 2, 3]</sup>.

일반적으로 시스템의 성능분석은 에러확률로 평가되었지만, 현재 DS/CDMA 시스템에서는 성능분석의 척도로서 시스템 용량을 구하여 성능을 분석하고 있는 추세이다. DS/CDMA 시스템은 모든 사용자들이 동일한 대역을 사용하여 동시에 정보를 전송하기 때문에, 사용자들은 서로 간섭을 일으키게 된다. 즉, DS/CDMA 시스템의 용량은 다른 사용자의 간섭량에 의해서 결정되기 때문에, 간섭량을 감소시키면 DS/CDMA 시스템의 용량은 증가하게 된다. 현재 간섭량을 감소시키기 위해 사용되는 방법으로는 섹터화, 음성활동을 감시 및 전력제어 등이 있다.

음성 서비스만을 지원하는 전력제어된 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 열량용량은 A. Viterbi와 J. Lee 및 R. Narainen에 의해 유도되었다<sup>[4, 5, 6]</sup>. 또한, 전력제어하에서 음성과 데이터 서비스를 모두 지원하는 경우의 열량용량은 A. Sampath가 전파음영환경에서 단일셀만을 고려하여 분석하였다<sup>[7]</sup>. DS/CDMA 셀룰라 시스템의 용량을 계산함에 있어 기지국과 이동국 사이에 완벽한 전력제어를 전제로하여 기지국에 도달하는 이동국들의 수신전력이 모두 동일하다고 가정하였으나 실제 실험결과 완벽한 전력제어는 기지국과 이동국 사이의 불안정한 이동 무선채널로 인하여 불가능한 것으로 보고되었다. 따라서, 불완전 전력제어에 의한 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 용량저하를 고려해야만 한다. 또한 완벽한 전력제어가 되지 않으면, 전파음영과 더불어 다중경로 페이딩의 특징이 여전히 존재하게 되어 단순히 로그노말 분포로 가정할 수 없게 됨을 알 수 있다<sup>[8, 9]</sup>. 즉, 전파음영만을 고려하는 기존의 용량 계산과는 달리, 불완전 전력제어 환경에서는 이 두 효과를 모두 고려하여야만 정확한 용량을 산출할 수 있게 된다.

본 논문에서는 음성 서비스와 데이터 서비스를 지원하는 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대해 불완전 전력제어 및 전파음영과 레일레이 분포된 다중

경로 페이딩을 모두 고려하여 블록킹 확률  $P_B$ 와 이에 일치하는 열량용량을 해석적으로 분석한다.

## II. 전파음영과 레일레이 페이딩 채널의 모델링

신호가 레일레이 분포된 다중경로 페이딩 채널을 통과한다고 가정하고 역방향 이동 무선채널을 단구간(short-term)에서 관찰하면, 기지국에 수신되는 신호는 폐루프 전력제어(CLPCC : closed-loop power control)에도 불구하고 여전히 레일레이 분포를 하게 된다<sup>[7, 8]</sup>. 장구간(long-term)에서 관찰하면, 레일레이 분포된 수신신호의 평균 전력은 로그노말 분포로 나타난다<sup>[10]</sup>.

역방향 이동 무선채널에서 다중경로 전파로 인하여  $i$ 번째 사용자의 신호가  $L$ 가지의 경로들로 나뉘어진다고 가정하면,  $i$ 번째 사용자에게 의해  $j$ 번째 경로로 기지국에 수신된 신호의 비트 에너지  $E_{b(i,j)}$  ( $j=1, 2, \dots, L$ )는 다음과 같이  $i$ 번째 사용자의 비트에너지와 MIP(Multipath Intensity Profile)로 쓸 수 있다.

$$E_{b(i,j)} = E_{b(i)} \cdot f_j \quad (1)$$

여기에서  $E_{b(i)}$ 는  $i$ 번째 사용자의 수신 신호에너지이고,  $f_j$ 는 다음과 같은 정규화된 MIP이다<sup>[11]</sup>.

$$\sum_{j=1}^L f_j = 1$$

수신신호의 포락선이 레일레이 분포를 하므로 수신신호 에너지는 chi-square 분포가 된다.  $i$ 번째 사용자의 신호가  $j$ 번째 경로로 수신될 때의 비트 에너지를  $E_{b(i,j)}$ 라고 할 때  $E_{b(i,j)}$ 에 대한 평균과 제곱평균은 chi-square 분포의 특성으로 인하여 다음과 같이 된다<sup>[11]</sup>.

$$E_{short}\{E_{b(i,j)}\} = f_j \cdot E_{short}\{E_{b(i)}\} = f_j \cdot \epsilon_i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} E_{short}\{E_{b(i,j)}^2\} &= 2 \cdot f_j^2 \cdot [E_{short}\{E_{b(i)}\}]^2 \\ &= 2 \cdot f_j^2 \cdot \epsilon_i^2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서  $E_{short}\{E_{b(i)}\} = \epsilon_i$ 이다.

단구간 페이딩을 고려할 때,  $L$ 가지의 다중경로채널이 각각의 경로들에 대해 독립적인 페이딩을 받는다고 가정하면,  $i$ 번째 사용자의 수신에너지  $E_{b(i)}$ 의 평균과

제공평균은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$E_{short}\{E_{b(i)}\} = \sum_{j=1}^K f_j \cdot \varepsilon_i = \varepsilon_i \quad (4)$$

$$E_{short}\{E_{b(i)}^2\} = \sum_{j=1}^K 2 \cdot f_j^2 \cdot \varepsilon_i^2 = \delta \cdot \varepsilon_i^2 \quad (5)$$

여기에서  $\delta \equiv \sum_{j=1}^K 2 \cdot f_j^2$ 이고  $E_{short}\{\}$ 는 단구간 페이딩에 대한 평균을 의미한다.

단구간에 대하여 앙상블 평균(ensemble average)한  $\varepsilon_i$ 는 그 자신이 수신된 평균 신호 에너지의 느린 변화로 인한 랜덤변수이다. 이 변화는 로그노말 분포의 전파 음영과 페루프 전력제어의 오차와 지연의 결과로 나타난다. 랜덤변수  $\varepsilon_i$ 는 다음과 같이 로그노말 분포로 근사화될 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$\varepsilon_i = 10^{x/10}$$

여기에서  $x$ 는 가우시안 랜덤변수이다.

장구간에서, 관측 인터벌 동안 평균함으로 구해지는 수신 신호 에너지  $\varepsilon_i$ 의 중간, 평균 및 제공 평균값은 다음과 같다<sup>[4, 5]</sup>.

$$Median\{\varepsilon_i\} = \varepsilon_{Med} = \exp\{\beta m\} \quad (6)$$

$$E_{long}\{\varepsilon_i\} = E_{long}\{\exp[\beta \cdot (m + \sigma G)]\} \\ = \varepsilon_{Med} \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2\right) \quad (7)$$

$$E_{long}\{\delta \cdot \varepsilon_i^2\} = E_{long}\{\delta \cdot \exp[2\beta \cdot (m + \sigma G)]\} \\ = \delta \cdot \varepsilon_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma^2) \quad (8)$$

여기에서  $m$ 과  $\sigma$ 는 각각 가우시안 분포의 평균과 분산이고  $E_{long}\{\}$ 는 장구간 페이딩에 대한 평균,  $\beta = \ln 10/10$ 이고  $G$ 는 평균이 0이고 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤변수를 나타낸다.

### III. 블러킹 확률 계산

각각의 셀마다  $K$ 명의 음성 사용자와  $M$ 명의 데이터 사용자들이 역방향 링크에 존재한다고 가정하면,  $K+1$ 번째 음성 사용자나  $M+1$ 번째 데이터 사용자에게는 다음과 같은  $P_{Total}$ 이 간섭전력이 된다.

$$P_{Total} = \sum_{i=1}^K \nu_i^{(V)} P_i^{(V)} + \sum_{m=1}^M \nu_m^{(D)} P_m^{(D)}$$

$$+ \sum_{j=1}^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i}^{(V)} P_{j,i}^{(V)} \\ + \sum_{n=1}^{other\ cells} \sum_{m=1}^M \nu_{n,m}^{(D)} P_{n,m}^{(D)} + N_0 W \\ = I_0 W \quad (9)$$

여기에서  $\nu_i^{(V)}$ 와  $P_i^{(V)}$ 는 기준셀에서의  $i$ 번째 음성 사용자에게 대한 음성 활동율(voice activity)과 랜덤 신호전력을 나타내고,  $\nu_m^{(D)}$ 와  $P_m^{(D)}$ 는 기준셀에서의  $m$ 번째 데이터 사용자에게 대한 데이터 활동율(data activity)과 랜덤 신호전력을 나타낸다.  $\nu_{j,i}^{(V)}$ 와  $P_{j,i}^{(V)}$ 는  $j$ 번째 셀에서  $i$ 번째 음성 사용자에게 대한 음성 활동율과 랜덤 신호전력을 나타내며  $\nu_{n,m}^{(D)}$ 와  $P_{n,m}^{(D)}$ 는  $n$ 번째 셀에서  $m$ 번째 데이터 사용자에게 대한 데이터 활동율과 랜덤 신호전력을 나타낸다.  $W$ 는 CDMA 확산 스펙트럼 대역폭이고  $N_0$ 는 잡음 밀도함수이며  $I_0$ 는 간섭 밀도함수이다.

$P_{Total}$ 을  $I_0 R_V R_D$ 으로 정규화하여,  $Z$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Z \equiv \frac{1}{PG_V} \left( \sum_{i=1}^K \nu_i^{(V)} \frac{E_{b(i)}^{(V)}}{I_0} + \sum_{j=1}^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i}^{(V)} \frac{E_{b(j,i)}^{(V)}}{I_0} \right) \\ + \frac{1}{PG_D} \left( \sum_{m=1}^M \nu_m^{(D)} \frac{E_{b(m)}^{(D)}}{I_0} + \sum_{n=1}^{other\ cells} \sum_{m=1}^M \nu_{n,m}^{(D)} \frac{E_{b(n,m)}^{(D)}}{I_0} \right) \quad (10)$$

여기에서  $PG_V = W/R_V$ 와  $PG_D = W/R_D$ 는 각각 음성 처리이득(voice processing gain)과 데이터 처리이득(data processing gain)을 나타낸다. 그러므로, 식 (9)는 식 (10)을 사용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z = \frac{1}{PG_V} \left( \sum_{i=1}^K \nu_i^{(V)} \rho_i^{(V)} + \sum_{j=1}^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i}^{(V)} \rho_{j,i}^{(V)} \right) \\ + \frac{1}{PG_D} \left( \sum_{m=1}^M \nu_m^{(D)} \rho_m^{(D)} + \sum_{n=1}^{other\ cells} \sum_{m=1}^M \nu_{n,m}^{(D)} \rho_{n,m}^{(D)} \right) \quad (11) \\ = (1 - \eta)$$

여기에서  $R_V$ 와  $R_D$ 는 각각 음성 비트율과 데이터 비트율을 나타내고,  $\rho_i^{(V)} = E_{b(i)}^{(V)}/I_0$ ,  $\rho_m^{(D)} = E_{b(m)}^{(D)}/I_0$ ,  $\rho_{j,i}^{(V)} = E_{b(j,i)}^{(V)}/I_0$ ,  $\rho_{n,m}^{(D)} = E_{b(n,m)}^{(D)}/I_0$ 이며,  $\eta \equiv N_0/I_0$ 는 CDMA 시스템의 부하(load)를 나타내는 파라미터이다. 우선  $\eta$  값이 주어지면,  $K+1$ 번째 음성 사용자나  $M+1$ 번째 데이터 사용자가 사용할 수 있는 채널의 질은 랜덤변수  $Z$ 의 분포에 의해 결정된다. 이때  $Z$ 가 임계값을 초과하면, 그 채널은  $K+1$ 번째 음성 사용자나  $M+1$ 번째 데이터 사용자를 블러킹할 것이다. 즉,  $K+1$ 번째 음성 사용자나  $M+1$ 번째 데이터 사용자가 블러킹될 확률은  $Z$ 가 임계값을 초과하는 확률이 된다. 또한,  $Z$ 가 랜덤변수

수들의 합이므로 중앙극한정리를 사용하면, 블럭킹 확률  $P_B$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>[4, 5, 9]</sup>.

$$P_B = \Pr\{Z > Z_{critical}\} = Q\left(\frac{Z_{critical} - E\{Z\}}{\sqrt{Var\{Z}\}}\right) \quad (12)$$

여기에서  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$ 이고  $Z_{critical}$ 은  $Z$ 의 임계값이며  $E\{Z\}$ 와  $Var\{Z\}$ 는 각각  $Z$ 의 평균과 분산을 나타낸다.

음성 사용자와 데이터 사용자의  $E_b/I_0$ 가 모두 동일한 분포를 한다고 가정하고, 식 (7) 및 식 (8)을 이용하면, 전파음영과 레일레이 페이딩을 모두 고려한 랜덤변수  $Z$ 의 평균과 분산을 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E\{Z\} = \left(\frac{1}{PG_V} \cdot \frac{\lambda_V}{\mu_V} \cdot \nu_V + \frac{1}{PG_D} \cdot \frac{\lambda_D}{\mu_D} \cdot \nu_D\right) \cdot \rho_{Med} \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \beta^2 \sigma_{dB}^2\right) \cdot (1+f) \quad (13)$$

$$Var\{Z\} = \left(\frac{1}{PG_V} \cdot \frac{\lambda_V}{\mu_V} \cdot \nu_V + \frac{1}{PG_D} \cdot \frac{\lambda_D}{\mu_D} \cdot \nu_D\right) \cdot \delta \cdot \rho_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma_{dB}^2) \cdot (1+f) \quad (14)$$

여기에서  $\nu_V$ 와  $\nu_D$ 는 각각 음성 사용자에게 대한 음성 활동율의 평균과 데이터 사용자에게 대한 데이터 활동율의 평균을 나타낸다.  $\lambda_V/M_V$ 와  $\lambda_D/M_D$ 는 각각 열량 단위로 측정되며, 각각 시스템에서 제공할 수 있는 평균 음성 열량용량과 데이터 열량용량을 나타낸다.  $\rho_{Med} = \exp(\beta\sigma_{dB})$ 이고  $\rho_{Med}^2 = \exp(2\beta\sigma_{dB})$ 이며,  $m_{dB}$ 와  $\sigma_{dB}$ 는 각각  $m_{dB} = m/I_0$ 과  $\sigma_{dB} = \sigma/I_0$ 이다.  $f$ 는 간섭전력에 대한 간섭 보정계수이다.

그러므로 전파음영과 다중경로 페이딩을 모두 고려한 블럭킹 확률  $P_B$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$P_B = Q\left(\frac{Z_{critical} - \left(\frac{1}{PG_V} \cdot \frac{\lambda_V}{\mu_V} \cdot \nu_V + \frac{1}{PG_D} \cdot \frac{\lambda_D}{\mu_D} \cdot \nu_D\right) \cdot \rho_{Med} \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \beta^2 \sigma_{dB}^2\right) \cdot (1+f)}{\sqrt{\left(\frac{1}{PG_V} \cdot \frac{\lambda_V}{\mu_V} \cdot \nu_V + \frac{1}{PG_D} \cdot \frac{\lambda_D}{\mu_D} \cdot \nu_D\right) \cdot \delta \cdot \rho_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma_{dB}^2) \cdot (1+f)}}\right) \quad (15)$$

#### IV. 열량용량 분석

전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 음성 열량용량과 데이터 열량용량을 전파음영만을 고려한 경우와 전파음영과 레일레이 페이딩을 모두 고려한 경우에 대하여 서로 비교분석한다. 이 비교분석을 하기 위해 사용되는

파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 열량분석에 사용되는 파라미터  
Table 1. Parameters for Erlang analysis.

파라미터	심볼	값
대역폭	$W$	1.2288 MHz
음성 비트율	$R_V$	9.6 kbps
		14.4 kbps
데이터 비트율	$R_D$	9.6 kbps
		14.4 kbps
음성 SIR 평균	$m_{dB}^{(V)}$	5, 6, 7 dB
데이터 SIR 평균	$m_{dB}^{(D)}$	5, 6, 7 dB
음성 SIR 표준편차	$\sigma_{dB}^{(V)}$	0, 2.5, 4 dB
데이터 SIR 표준편차	$\sigma_{dB}^{(D)}$	0, 2.5, 4 dB
평균 음성 활동율	$\nu_V$	0.4
평균 데이터 활동율	$\nu_D$	0.6
간섭보정계수	$f$	0.55
소프트 블럭킹 임계값	$\eta$	0.1

그림 1과 그림 2는 각각 데이터율  $R_b=9.6$  kbps와  $R_b=14.4$  kbps에 대해 전파음영만을 고려한 경우의 음성 열량용량과 데이터 열량용량을 단일셀에 대하여 음성 서비스만을 제공하는 경우에서부터 데이터 서비스를 제공하는 경우까지 나타내었다. 그림의 세로축은 블럭킹 확률을 대수로 표시한 것이고 가로축은 열량용량을 나타낸다. 데이터율  $R_b=9.6$  kbps에서 음성 서비스만을 지원할 경우, 1%의 블럭킹 확률에서의 음성 열량용량은 Viterbi의 결과와 동일한 26.39 열량이 되고, 데이터 서비스만을 지원할 경우에는 17.59 열량이 된다는 것을 알 수 있다. 또한 각각 5, 10, 15 열량의 데이터 서비스가 제공될 경우, 1%의 블럭킹 확률에서 음성 서비스가 지원할 수 있는 음성 열량용량은 각각 18.89, 11.39, 3.89 열량이 되며, 5, 10, 15 열량의 음성 서비스가 제공될 경우, 데이터 서비스가 지원할 수 있는 데이터 열량용량은 각각 14.26, 10.93, 7.59 열량이 된다는 것을 알 수 있다. 동일한 블럭킹 확률을 가정할

경우, 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에서 지원할 수 있는 열량용량은 음성 서비스만을 지원할 경우에 15.42 열량, 데이터 서비스만을 지원할 경우에 10.28 열량이 되며, 각각 3, 6, 9 열량의 데이터 서비스가 제공될 경우와 음성 서비스가 제공될 경우, 지원할 수 있는 음성 열량용량과 데이터 열량용량은 각각 10.92, 6.42, 1.92 열량과 8.28, 6.28, 4.28 열량이 된다는 것을 알 수 있다.

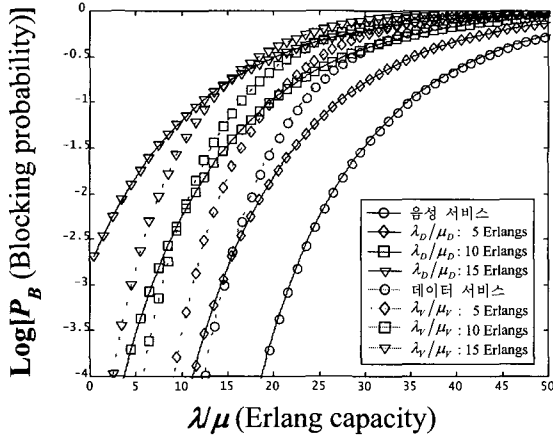


그림 1. 단일셀에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps에 대한 음성과 데이터 열량용량  
Fig. 1. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=9.6$  kbps in single-cell.

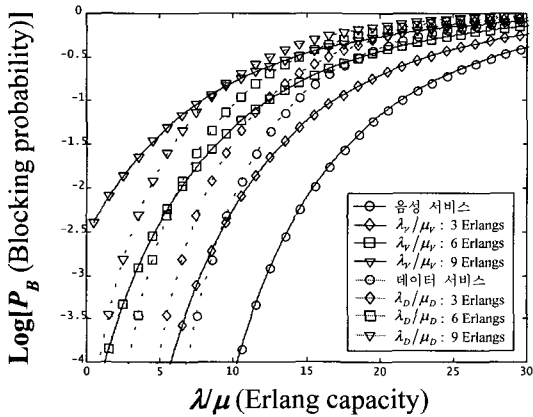


그림 2. 단일셀에서 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에 대한 음성과 데이터 열량용량  
Fig. 2. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=14.4$  kbps in single-cell.

그림 3과 그림 4는 다중셀에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps와  $R_b=14.4$  kbps에 대한 음성과 데이터 열량용량을 나타낸 것이다. 그림 3에서 음성 서비스만을 지원

할 경우, 1%의 블로킹 확률을 가정하면 17.03 열량으로 Viterbi의 결과와 동일한 음성 열량용량이 되며, 데이터 서비스만을 지원할 경우에는 11.35 열량이 된다는 것을 알 수 있다. 또한, 각각 5, 10 열량의 데이터 서비스가 제공될 경우, 음성 서비스가 지원할 수 있는 음성 열량용량은 각각 9.53, 2.03 열량이 되며, 5, 10 열량의 음성 서비스가 제공될 경우, 데이터 서비스가 지원할 수 있는 데이터 열량용량은 각각 8.02, 4.68 열량이 된다는 것을 알 수 있다. 동일한 블로킹 확률을 가정할 경우, 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에서 지원할 수 있는 열량용량은 음성 서비스만을 지원할 경우에 9.95 열량, 데이터

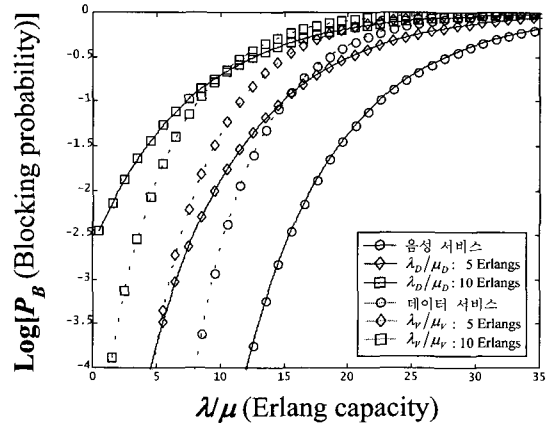


그림 3. 다중셀에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps일 경우의 음성과 데이터 열량용량  
Fig. 3. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=9.6$  kbps in multi-cell.

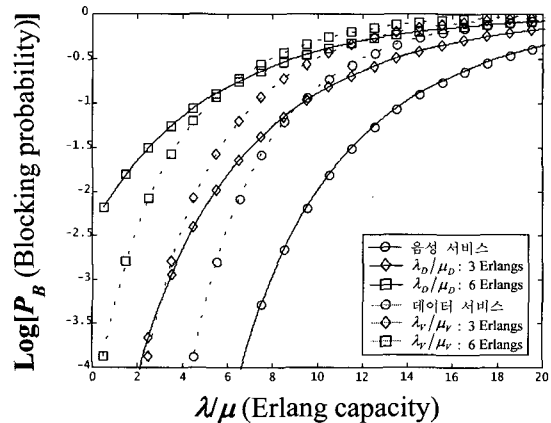


그림 4. 다중셀에서 데이터율  $R_b=14.4$  kbps일 경우의 음성과 데이터 열량용량  
Fig. 4. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=14.4$  kbps in multi-cell.

서비스만을 지원할 경우에 6.63 얼랑이 되며, 각각 3, 6 얼랑의 데이터 서비스가 제공될 경우와 음성 서비스가 제공될 경우, 지원할 수 있는 음성 얼랑용량과 데이터 얼랑용량은 각각 5.46, 0.95 얼랑과 4.63, 2.63 얼랑이 된다는 것을 알 수 있다. 다중셀에서의 얼랑용량은 단일셀에서보다 모두 35.5%의 현격한 얼랑용량이 감소함을 알 수 있다. 이것은 주변셀들에 있는 이동국들의 간섭으로 인한 것으로, DS/CDMA 셀룰라 시스템의 얼랑용량은 간섭에 의해 제한되기 때문에 주변셀들에 있는 이동국들로부터의 간섭을 줄이면 역방향 링크의 용량을 증가시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

전파음영 채널과 다중경로 페이딩 환경하에서, DS/CDMA 셀룰라 시스템에서 지원할 수 있는 음성과 데이터 얼랑용량을 다중셀에 대하여 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. 데이터율  $R_b=9.6$  kbps에서 1%의 블로킹 확률을 가정할 경우, 음성 서비스만을 지원할 때에는 13.38 얼랑, 데이터 서비스만을 지원할 때에는 8.92 얼랑으로 두 경우 모두 전파음영만을 고려한 경우보다 21.4%의 얼랑용량이 감소함을 알 수 있다. 이것은 불완전 전력제어로 인하여 신호가 다중경로 페이딩을 겪기 때문이다. 또한, 각각 2, 4, 6, 8 얼랑의 데이터 서비스가 제공될 경우, 음성 서비스가 지원할 수 있는 음성 얼랑용량은 각각 3 얼랑씩 감소하며, 2, 4, 6, 8 얼랑의 음성 서비스가 제공될 경우, 데이터 서비스가 지원할 수 있는 데이터 얼랑용량은 각각 1.33 얼랑씩 감소

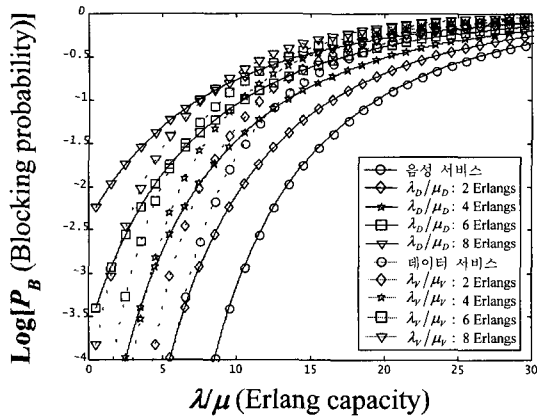


그림 5. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps에 대한 음성과 데이터 얼랑용량

Fig. 5. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=9.6$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

한다는 것을 알 수 있다. 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에 대해 동일한 블로킹 확률을 가정할 경우, 음성 서비스만을 지원할 경우에 7.47 얼랑, 데이터 서비스만을 지원할 경우에 4.98 얼랑이 되며, 각각 1, 2, 3, 4 얼랑의 데이터 서비스가 제공될 경우와 음성 서비스가 제공될 경우, 지원할 수 있는 음성 얼랑용량과 데이터 얼랑용량은 각각 1.5 얼랑과 0.67 얼랑씩 감소한다는 것을 알 수 있다.

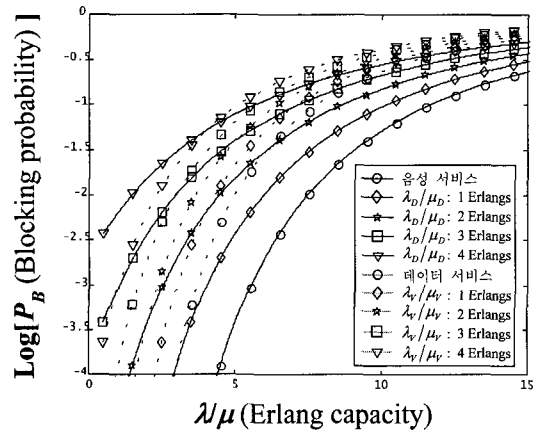


그림 6. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에 대한 음성과 데이터 얼랑용량

Fig. 6. Voice and data Erlang capacity for  $R_b=14.4$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

그림 7과 8은 요구되는  $E_b/N_0$ 가 5 dB, 6 dB, 7 dB 일 때, 데이터율  $R_b=9.6$  kbps와  $R_b=14.4$  kbps에 대한 음성과 데이터 얼랑용량을 각각 나타낸 것이다. 데이터율  $R_b=9.6$  kbps에 대해 1%의 블로킹 확률 및 데이터 서비스와 음성 서비스가 각각 4 얼랑씩 제공된다고 가정하면, 요구되는  $E_b/N_0$ 가 5 dB, 6 dB, 7 dB일 때 지원할 수 있는 음성 얼랑용량은 19.09, 12.4, 7.38 얼랑이 되고 데이터 얼랑용량은 14.06, 9.6, 6.25 얼랑이 되어, 요구되는  $E_b/N_0$ 가 7 dB인 경우보다 음성 서비스는 각각 158.7%와 63.1%의 얼랑용량이 증가하며, 데이터 서비스는 각각 125%와 53.6%의 얼랑용량이 증가함을 알 수 있다. 데이터율  $R_b=14.4$  kbps에서 데이터 서비스와 음성 서비스가 각각 2 얼랑씩 제공된다고 가정한 경우에도 마찬가지로,  $E_b/N_0$ 가 5 dB, 6 dB, 7 dB 일 때 지원할 수 있는 음성 얼랑용량은 11.45, 7.43,

4.47 열량이 되고 데이터 열량용량은 8.3, 5.62, 3.64 열량이 되어, 요구되는  $E_b/N_0$ 가 7 dB인 경우보다 음성 서비스는 각각 156.2%와 66.2%의 열량용량이 증가하며, 데이터 서비스는 각각 128%와 54.4%의 열량용량이 증가함을 알 수 있다. 이것은 요구되는  $E_b/N_0$ 가 작게 되면, 간섭량 또한 작아지게 되어 보다 많은 사용자에게 서비스할 수 있게 된다는 것을 의미한다.

실제 셀룰라 무선통신 시스템이나 개인 통신 시스템에서, 모든 이동국이 전송하는 전력레벨은 서비스를 하는 기지국에 의해 제어된다. 이것은 각각의 이동국이 역방향 채널에서 양질의 링크를 유지하는데 필요로 하는 최소한의 전력을 송신하도록 하는 것이다. 현재 DS/CDMA 셀룰라 시스템에서 사용되고 있는 전력제어는 개루프 전력제어와 페루프 전력제어이다. 개루프 전력

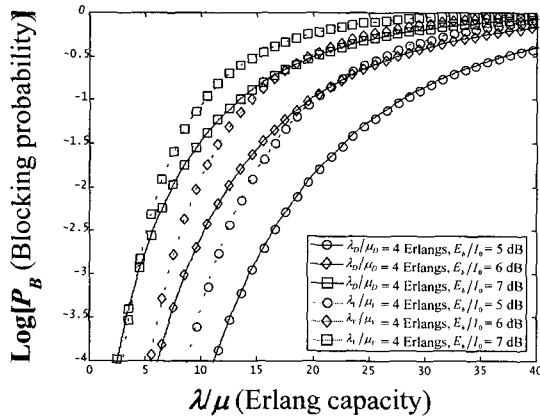


그림 7. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps일 경우, 요구되는  $E_b/N_0$ 에 따른 음성과 데이터 열량용량

Fig. 7. Voice and data Erlang capacity as a function of required  $E_b/N_0$  at the rate of  $R_b=9.6$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

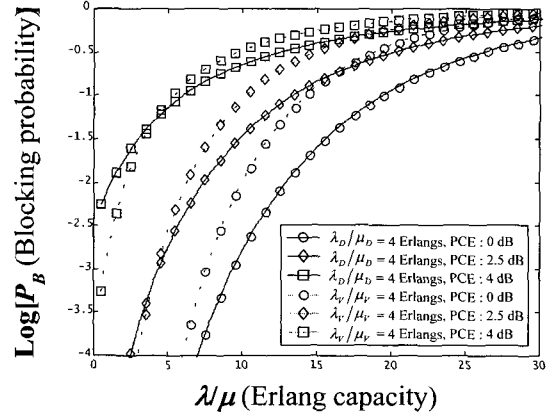


그림 9. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=9.6$  kbps일 경우, 전력제어오차에 따른 음성과 데이터 열량용량

Fig. 9. Voice and data Erlang capacity as a function of the power control error at the rate of  $R_b=9.6$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

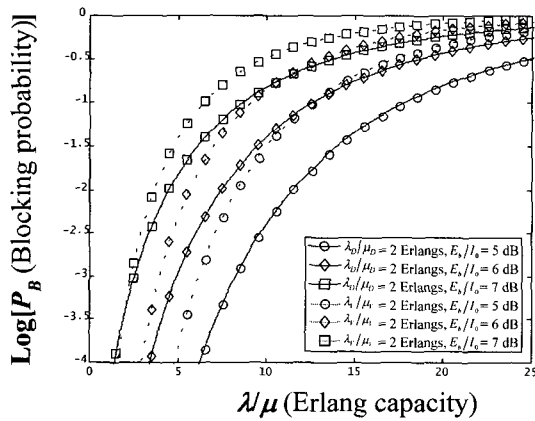


그림 8. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=14.4$  kbps일 경우, 요구되는  $E_b/N_0$ 에 따른 음성과 데이터 열량용량

Fig. 8. Voice and data Erlang capacity as a function of required  $E_b/N_0$  at the rate of  $R_b=14.4$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

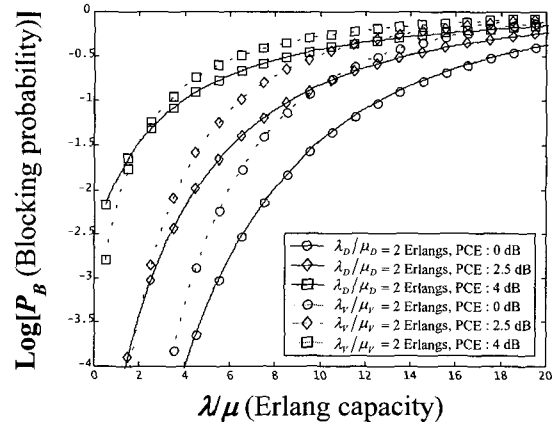


그림 10. 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 데이터율  $R_b=14.4$  kbps일 경우, 전력제어오차에 따른 음성과 데이터 열량용량

Fig. 10. Voice and data Erlang capacity as a function of the power control error at the rate of  $R_b=14.4$  kbps in shadowing and multipath fading channel.

제어는 수신 신호강도를 기준으로하는 단순한 전력제어를 하고, 페루프 전력제어는 1.25ms마다 전력제어비트를 사용하여 보다 세밀한 전력제어를 한다. 그러나 이러한 전력제어에도 불구하고 실제 측정값은 전파음영과 다중경로 페이딩에 의한 영향을 같이 받고 있다. 그림 9와 그림 10은 전력제어오차(power control error)에 따른 열량용량 변화를 (3)의 경우와 (4)의 경우에 대해 완벽한 전력제어에서부터 과도한 전력제어오차를 나타낸다.

## V. 결 론

다중경로 페이딩 채널을 고려할 경우의 음성과 데이터 열량용량을 전파음영 채널만을 고려할 경우와 비교 분석하였다. 통화 블럭킹은 전체 간섭이 배경 잡음보다 10 dB 초과할 때로 가정하고 열량용량은 블럭킹 확률이 1%일 때 해당하는 통화량 부하(load)로 정의하였다. 호 도착률은 포아송분포, 호 서비스시간은 지수분포로 모델링하고, 대기 이론에서  $M/M/\infty$ 인 충분한 수의 서버를 가정하였다. 또한 레일레이 다중경로 채널을 가정하고, 음성 활동율은 40%, 각 사용자의 수신에너지 대 간섭밀도비를 로그노말 분포로 근사화하고 중앙극한정리를 이용했으며 평균이 0이고 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤 변수를 사용하였다. 또한 유선 시스템에서 널리 사용되어졌고, 현재 상용중인 디지털 시스템의 특성을 잘 나타낼 수 있는 열량-B 공식을 사용하여 음영 효과와 다중경로 페이딩을 모두 고려한 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 음성 열량용량과 데이터 열량용량을 각각 구하였다.

그 결과 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 보다 정확한 열량용량을 계산하기 위해서는 다중경로 페이딩의 영향을 무시해서는 안된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 수신신호에 남아 있는 다중경로 페이딩의 영향을 감소시키기 위해서는 빠른 페루프 전력제어가 필요할 것이고 다중경로를 이용하는 다이버시티 기법을 병행해야만 할 것이다.

이 연구결과는 DS/CDMA 시스템 설치시 전파음영과 다중경로 페이딩의 영향 및 불완전 전력제어에 의한 가입자 용량계산에 이론적인 근거로 사용할 수 있다. 향후에는 빠른 페루프 전력제어와 다이버시티 등을 고려하여 좀더 현실에 근접한 연구를 병행할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] EIA/TIA, IS-95 Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system, Feb. 1993.
- [2] ANSI J-STD-008, Personal station-base station compatibility requirement for 1.8 to 2.0 GHz CDMA personal communication systems, Mar. 1995.
- [3] M. G. Jansen and R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 67~75, Feb. 1995.
- [4] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. on Selected Areas in Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892~900, Aug. 1993.
- [5] J. S. Lee and L. E. Miller, "On the Erlang capacity of CDMA cellular system," in *GLOBECOM'95 Conf.*, Singapore. pp. 1877~1883, November 13-17, 1995.
- [6] R. P. Narrainen and F. Takawira, "A traffic model for a power controlled CDMA system," in *Proceedings of COMSIG'98*, South Africa, pp. 51~56, 1998.
- [7] A. Sampath, N. B. Mandayam and J. M. Holtzman, "Erlang capacity of a power controlled integrated voice and data CDMA system," in *Proceedings of VTC'97*, vol. 3, pp. 1557~1561, 1997.
- [8] L. F. Chang, F. Ling, D. D. Falconer and N. R. Sollenberger, "Comparison of two conventional orthogonal coding techniques for CDMA radio communications systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 43, no. 6, pp. 2028~2037, June 1995.
- [9] G. E. Corazza, G. De Maio and F. Vatalaro, "CDMA cellular systems performance with fading, shadowing and imperfect power control,"



IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 47, no. 2, pp. 450~459, May 1998.

[10] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi and E. Zehavi, "Performance of power-controlled wideband terrestrial digital communication," IEEE Trans.

on Commun., vol. 41, no. 4, pp. 559~569, April 1993.

[11] J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 3rd ed., 1989.

저 자 소 개



金 沆 來(正會員)

1995년 : 청주대학교 전자공학과(공학사). 1997년 : 청주대학교 전자공학과(공학석사). 1997년~1997년 : 한국전자통신연구원 위촉연구원. 1999년~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사수료. <관심분야>

디지털 이동통신, 무선시스템



金 男(正會員)

1981년 : 연세대학교 전자공학과(공학사). 1983년 : 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1988년 : 연세대학교 전자공학과(공학박사). 1992년~1993년 : 미 Standford 대학 방문교수. 2000년~2001년 : 미

California Technology Institute(Caltech) 방문교수. 1989~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수. <관심분야> 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자파 해석, EMR/EMC, Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application